Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 477-488

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۸۸-۴۷۷

مقاله پژوهشی

واکنش عملکرد ارقام گلرنگ(*Carthamus tinctorius* L.) به کاربرد فسفر وشاخص‌های کارایی آن

کامران میرزاشاهی[1*]، منصور معیری[2]، فریدون نورقلی پور[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر فسفر بر عملکرد دانه و شاخص‌های کارایی فسفر در ارقام گلرنگ، این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل الف) فسفر در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل و ب) ارقام "گلدشت و صفه"، در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی صفی‌آباد دزفول طی دو سال (۱۳۹۱ و ۱۳۹۳)، اجرا گردید. نتایج نشان داد که برهمکنش تیمارها بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق، معنی‌دار بود. در هر دو رقم با افزایش مصرف فسفر، صفات مذکور افزایش معنی‌داری یافت. بیشترین تعداد طبق بارور (۲۵۲ عدد)، و تعداد دانه در طبق (۲۳/۱۷ عدد)، در سطح ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد. برهمکنش سال در فسفر بر وزن هزار دانه و عملکرد دانه و برهمکنش سال در رقم بر وزن هزار دانه معنی‌دار گردید. بیشترین وزن هزار دانه(۴۲/۴۱ گرم)، و عملکرد دانه (۲۱۸۴ کیلوگرم در هکتار)، با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار حاصل گردید. رقم صفه با عملکرد دانه و روغن، ۱۹۷۹ و ۵۹۹ کیلوگرم در هکتار، برتر از رقم گلدشت بود. مصرف فسفر باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف (۶۹ درصد)، و جذب (۸۵ درصد)، گردید. لذا، با توجه به بیشترین نسبت فایده به هزینه (۳۵/۵۱)؛ مصرف ۵۰ کیلوگرم فسفر با بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب (به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم)، و نیز انتخاب رقم صفه، قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، کارایی مصرف فسفر، گلرنگ، نسبت فایده به هزینه

مقدمه

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و پس از نیتروژن و پتاسیم از نظر کمی، مهم‌ترین عنصر غذایی در تولید محصول به‌شمار می‌آید. این عنصر، در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی، ترکیبات انرژی‌زا، و سازوکارهای انتقال انرژی دخالت دارد. همچنین، جزئی از پروتئین یاخته بوده و به‌عنوان بخشی از پروتئین هسته، غشاء یاخته‌ای و اسیدهای نوکلئیک، نقش ویژه‌ای ایفاء می‌کند. افزون بر این، فسفر برای تشکیل دانه و توسعه‌ی ریشه ضروری می‌باشد. از این رو، استفاده بهینه از آن یکی از مولفه‌های حائز اهمیت در مدیریت زراعی محسوب می‌گردد (Wei *et al*., 2017). از طرفی، به دلیل شیمی پیچیده فسفر در خاک و مطالعات صورت گرفته، بازیابی فسفر در سال اول هشت تا ۳۰ درصد و به‌ندرت پس از ۳۰ سال به ۵۰ درصد، می‌رسد و بقیه آن در خاک تثبیت شده و به شکل غیر قابل دسترس گیاه تجمع می‌یابد (Wang *et al*., 2010). از این رو، ایجاب می‌نماید که جهت حفظ تولید، همه ساله کودهای حاوی فسفر در اراضی دارای کمبود، مصرف شوند. اما، عدم رضایت‌مندی کامل از این روش، به دلیل فرآیندهای اثرگذار بر کاهش قابلیت استفاده آن از یک سو و دلایل زیست‌محیطی و اقتصادی از سوی دیگر، در دو دهه اخیر باعث شد تا دانشمندان روش‌های مختلفی برای بهبود کارایی فسفر از جمله، شیوه وفق دادن گیاهان با شرایط طبیعی خاک‌ها را مد نظر قرار داده و نسبت به انتخاب و اصلاح ژنوتیپ‌هایی که مواد غذایی خاک و کود را با کارایی بالا مصرف می‌کنند، اقدام نمایند (Park *et al*., 2011). اثر بهینه کودهای شیمیایی فسفر حتی در شرایط کم آبی، به‌ویژه در مرحله رشد زایشی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، می‌تواند در جلوگیری از کاهش عملکرد دانه سودمند باشد (Heshmati *et al*., 2017).کاهش عملکرد گلرنگ در پاسخ به کمبود فسفر، بسیار بیشتر از نیتروژن و پتاسیم است (Abbadi and Gerendas, 2011). در این ارتباط نیز، اثرگذاری بسیار معنی‌دار فسفر بر عملکرد و اجزای عملکرد گلرنگ گزارش شد (Golzarfar *et*

۱- استادیار پـژوهش بخـش تحقیقـات خـاک و آب، مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و تـرویج کشـاورزی، دزفول، ایران
۲- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنـی و مهندسـی، مرکـز تحقیقـات و آمـوزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی آباد، سازمان تحقیقات، آموزش و تـرویج کشـاورزی، دزفول، ایران
۳- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خـاک و آب، سـازمان تحقیقـات، آمـوزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:kamranmirzashahi@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.37185.0

al., 2012). بررسی اثرات فسفر بر تعداد طبق در بوته، در رقم گلدشت نشان داد که بهترین تیمار از نظر حصول به عملکرد بهینه، تیمار مصرف ۷۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بود (Vafaie *et al*., 2013). بررسی اثر کود فسفر و آزوسپیریلوم بر گلرنگ مشخص نمود که بیشترین ارتفاع و تعداد طبق در بوته از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار به‌دست آمد (Heidari *et al*., 2014). همچنین، بررسی سطوح مختلف نیتروژن و فسفر بر عملکرد دانه گلرنگ در مناطق دیم نشان داد که بهترین تیمار فسفر برای دستیابی به عملکرد بهینه در مراغه و سرارود، به‌ترتیب ۹۰ و ۳۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار بود (Haghighati Malek and Ferri, 2014). در یک مطالعه‌ی گلخانه‌ای مشخص گردید که کاربرد فسفر منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته، تعداد طبق در بوته و عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه، در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر گردید (Bonfim- Silva *et al*., 2017). بررسی صورت گرفته، در مورد اثر مصرف فسفر بر گلرنگ نشان داد که با افزایش فسفر، نسبت به تیمار عدم مصرف فسفر به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد ماده خشک گلرنگ گردید (Abbadi, 2017). همچنین، در شرایط دیم مقدار کود فسفر خالص برای دستیابی به عملکرد مطلوب گلرنگ ۳۵ کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. از سویی، با مصرف دو تن در هکتار کود دامی می‌توان این مقدار را نیز به نصف، کاهش داد (Afzal *et al*., 2017). از طرفی، در بررسی صورت گرفته دیگر در شرایط دیم، مقدار ۴۴ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار، با عملکرد دانه ۱۹۱۴ کیلوگرم در هکتار توصیه گردید (Sofy *et al*., 2020). مطالعات صورت گرفته حاکی از این است که تفاوت بین گیاهان از منظر کارایی بسته به نوع عنصر و نوع گونه و حتی رقم در هر گونه گیاهی و عوامل محیطی می‌تواند متفاوت باشد (Blackwell *et al*., 2019). مطالعه صورت گرفته در خاکی با مقدار فسفر قابل دسترس ۷/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان داد که شاخص کارایی فسفر ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)، از ۰/۹۲۵ در سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل به ۰/۸۷۴ در سطح ۳۰۰ کیلوگرم کود کاهش معنی‌دار یافت. در این دو سطح کود، کارایی استفاده از فسفر از ۱۴۹ به ۱۳۶ کیلوگرم دانه به‌ازای هر کیلوگرم فسفر و مقدار کارایی جذب از ۰/۸۴۶ به ۰/۷۳۲ کاهش داشت (Ghaderi and Nourgholopour, 2020). همچنین، مشخص گردید که کارایی جذب فسفر در گلرنگ، از ۰/۷ میلی‌گرم بر میلی‌گرم وزن خشک گیاه در سطح مصرف ۰/۲۵ گرم فسفر خالص در هر گلدان، به ۰/۲۱ میلی‌گرم بر میلی‌گرم وزن خشک گیاه، در سطح مصرف ۲ گرم فسفر خالص در هر گلدان، کاهش داشت (Abbadi and Gerendas, 2011). ازاین رو، با توجه به کمبود فسفر در سطح وسیعی از مزارع کشور و نیز خوزستان (Tehrani *et al*., 2012; Mirzashahi *et al*., 2015) و اهمیت شناسایی ارقام فسفر کارا و تحقیقات کم انجام شده در این زمینه برای محصول گلرنگ در ایران، این پژوهش به‌صورت مزرعه‌ای اجرا گردید. نتایج این تحقیق می‌تواند مشخص نماید که کدام‌یک از ارقام برای تولید مقدار مشخصی از دانه به مقدار کمتری از فسفر نیاز دارد. این امر می‌تواند به‌عنوان یک راهبرد سودمند برای شرایط کمبود فسفر در نظر گرفته شود. افزون بر این، به دلیل روند رو به رشد مصرف روغن‌های گیاهی و هزینه زیاد تامین روغن مورد نیاز از طریق واردات؛ نتایج این تحقیق در راستای توسعه کشت گیاه روغنی گلرنگ و در چارچوب مدیریت به‌زراعی (Noushahi *et al*., 2019)، این محصول موثر خواهد بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد (دزفول) در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳و در مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۸۲ متر از سطح دریا، بر روی یک خاک سری Clayey, mixed, Hyperthermic- Aridic Haplustepts انجام شد. این منطقه بر اساس معیار دومارتن، دارای رژیم آب وهوایی نیمه خشک می‌باشد. برخی ویژگی‌های هواشناسی محل آزمایش در سال‌های ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۴-۱۳۹۳، در جدول ۱ گنجانده شده است. ابتدا قطعه زمینی انتخاب و بعد از عملیات تهیه زمین (آبیاری اولیه، دیسک و تسطیح)، نقشه طرح در محل مورد نظر پیاده و یک نمونه مرکب خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و صفات لازم مطابق با دستورالعمل‌های موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شدند (Ali Ahyaei and Behbahani Zadeh, 1993). نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مورد آزمایش فاقد شوری (کمتر از چهار دسی‌زیمنس بر متر) و از نظر کربن آلی و به تبع آن نیتروژن کل خاک، فقیر بود. افزون بر این، درصد کربنات کلسیم معادل زیاد و مقادیر فسفر و پتاسیم قابل استفاده، کم بود (جدول ۲).

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: ۱- مصرف فسفر در پنج سطح (بدون مصرف فسفر"شاهد"، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار از منبع سوپر فسفات تریپل) و ۲- دو رقم گلرنگ (گلدشت و صفه). محل تامین بذرهای مورد نظر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان بود. کاشت بذر گلرنگ با تنظیم کارنده آزمایشی چغندرقند (*Beta Vulgaris*) و به‌صورت ردیفی و بنا به توصیه بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها پنج سانتی‌متر صورت پذیرفت.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های هواشناسی منطقه محل آزمایش طی دو سال (۹۲-۱۳۹۱ و ۹٤-۱۳۹۳)
Table 1- Some meteorological properties of the test site over two years (2012-13 and 2014-15)

میانگین بارندگی Rainfall mean (mm)	میانگین (Mean)	درجه حرارت حداقل Temperature (°C) (Min.)	حداکثر (Max.)	ماه (Month)	سال (Year)
44.65	18.68	12.35	25	شش ماه دوم Second 6 months	2012-13
32	27.89	20.50	35.27	سه ماه اول First 3 months	2013
27.35	23.39	20.38	26.40	شش ماه دوم Second 6 months	2014-15
6	27.95	19.10	36.80	سه ماه اول First 3months	2015

جدول ۲- میانگین دو ساله برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش
Table 2- Two years mean of some physical and chemical properties of the test site soil

بافت Texture	منگنز Mn	مس Cu	آهن Fe	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن کل Total N	آهک T.N.V	کربن آلی O.C	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC	عمق Depth
	(mg.kg^{-1})							(%)			(dS.m^{-1})	(cm)
Clay Loam	3.3	0.78	5.8	1.25	162	7.18	850	47.25	0.62	7.79	1. 15	0-30

بر اساس نتایج حاصل از آزمون خاک اوره و سولفات پتاسیم، به‌ترتیب هرکدام به میزان ۳۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار تعیین و مصرف شدند. نیتروژن به میزان یک سوم و فسفر و پتاسیم تماماً هنگام کاشت مصرف شدند. مابقی کود اوره در دو تقسیط مساوی (شروع ساقه رفتن و اوایل گلدهی)، به‌صورت سرک مورد استفاده قرار گرفت. نحوه کاربرد کودهای شیمیایی به‌صورت خاک کاربرد و مخلوط با خاک سطحی صورت گرفت. ابعاد هر کرت ۱۵ متر مربع ("شش خط به طول پنج متر با فاصله ۵۰سانتی‌متری")، بود. بوته‌ها در مرحله ۳ تا ۴ برگی تنک و به تراکم ۲۵ بوته در متر مربع رسیدند. برای جلوگیری از تداخل خاک کرت‌های مجاور، بین هرکرت دو متر و همچنین بین تکرارها پنج متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری به‌صورت نشتی و کنترل شده به‌وسیله سیفون انجام گردید. سایر مراقبت‌های لازم زراعی در طول دوره رشد صورت گرفت. قبل از برداشت از هر تکرار تعداد طبق‌های بارور در متر مربع (در سه کادر یک متر مربعی از هر کرت) و تعداد دانه‌های پر (با شمارش دانه‌های پر در ۲۰ طبق) و پس از برداشت وزن هزار دانه (با سه بار شمارش از سه گروه تصادفی هزار دانه‌ای در هر کرت)، محاسبه شدند. عمل برداشت محصول (به ابعاد ۸ متر مربع)، پس از حذف اثر حاشیه و نیم متر از بالا و پایین هر کرت بر روی چهار خط وسط به طول چهار متر انجام گردید. در نهایت تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، جذب فسفر توسط دانه (حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد فسفر دانه)، و شاخص‌های کارایی مصرف، جذب و استفاده فسفر اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری محتوای فسفر دانه، از روش خاکسترگیری خشک استفاده شد. در نهایت، مقدار فسفر از طریق روش طیف‌سنجی نوری و با دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین شد (Emami, 1996). برای محاسبه شاخص‌های کارایی فسفر بر حسب کیلوگرم در کیلوگرم، از روابط زیر استفاده گردید (Sepehr *et al*., 2008; Ozturk *et al*., 2005; Rose and Wissuwa, 2012):

$$PUE = \frac{Y_0}{Y_t} \quad (۱)$$

$$PupE = \frac{P\,up_0}{Pup_t} \quad (۲)$$

$$PutE = \frac{Y}{Pup_t} \quad (۳)$$

در این رابطه‌ها، PUE: کارایی مصرف فسفر، Y_0: عملکرد دانه در تیمار شاهد، Y_t: عملکرد دانه در تیمار کود فسفر، PupE: کارایی جذب فسفر، Pup_0: جذب فسفر در تیمار شاهد، Pup_t: جذب فسفر در تیمار کود فسفر، PutE: کارایی استفاده فسفر و Y: عملکرد دانه، می‌باشد. مقدار روغن دانه گلرنگ با استفاده از روش استخراج پیوسته سوکسله اندازه‌گیری شد (Hosseini, 2007). برای بررسی اقتصادی نتایج از نسبت فایده به هزینه (درآمد ناشی از افزایش عملکرد محصول در هر تیمار نسبت به تیمار شاهد به هزینه کود فسفر مصرفی در هر تیمار)، استفاده گردید (PRII, 1996). پس از اطمینان از همگنی واریانس‌ها، با استفاده از آزمون بارتلت، تجزیه واریانس مرکب نتایج با استفاده از نرم‌افزار(9.1) SAS انجام گرفت. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال، رقم و فسفر بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانـه در طبـق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقایسـه میـانگین نتایج نشان داد که با افزایش میزان فسفر مصرفی در هر رقـم، تعـداد طبق بارور در متر مربع در هر دو سـال آزمـایش افـزایش معنـی‌داری داشت (جدول ۴). بررسی نتایج مندرج در جدول ۴ نشان می‌دهـد کـه به‌استثنای سطح صفر فسـفر، تعـداد طبـق بـارور در سـال اول و نیـز میانگین دو سال در رقم صفه به‌ویژه در سطوح ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلـوگرم فسفر در هکتار، بیشتر از رقم گلدشت بود. به‌طوری‌که، بیشترین تعداد طبق بارور در متر مربع در سال اول (۲۹۲ عدد) و نیز میانگین دو سال (۲۵۲ عدد)، در رقم صـفه در سـطح ۱۵۰ کیلـوگرم فسـفر در هکتـار مشاهده گردید (جدول ۴). در سطح صـفر فسـفر در سـال اول تعـداد طبق بارور در رقم گلدشت، هرچند بدون تفاوت معنی‌دار، بیشتر از رقم صفه بود. علت این امر شاید داشتن تعداد شاخه فرعی بیشتر و نهایتـاً تعداد طبق بیشتر، در راستای جبران کمبـود دو جـزء دیگـر عملکـرد، یعنی تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه در این تیمار باشد؛ چـرا کـه عملکرد دانه برآیند حاصل‌ضرب اجزای عملکـرد محسـوب مـی‌گـردد (Hashemi dezfuli *et al*., 1995). از طرفـی، در سـال دوم تعـداد طبق بارور در هر سطح از فسفر مصرفی در دو رقم، تقریبـاً برابـر بـود (جدول ۴). همچنین، تعداد دانه در طبق در هر دو سال آزمایش و نیـز میانگین آن‌ها در هر دو رقم مورد آزمـایش رونـد افزایشـی نشـان داد (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در طبـق در سـال اول (۲۳ عـدد) و در سال دوم (۲۶/۳۳ عدد)، به‌ترتیب از مصرف ۵۰ و ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مربوط به رقم صفه بود (جدول ۴). افزون بر ایـن، میـانگین دو ساله بیشترین تعداد دانه در طبق (۲۳/۱۷ عدد)، هم در سطح ۱۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد که با سطح مصرف ۵۰ کیلـوگرم فسفر در هکتار با تعداد دانه در طبق بـه تعـداد، ۲۲/۳۳ عـدد، تفـاوت معنی‌دار ملاحظه نشد (جدول ۴). لذا، رقم صفه از حیـث تعـداد طبـق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق، نسبت به رقم گلدشت برتـری داشت. تعداد طبق بارور در متر مربع، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد، همراه با تعداد دانه در طبق همبستگی بالایی با عملکرد دانه گلرنگ دارند، به طوری‌که با افزایش درجه فراهمی فسفر همزمان بـا تامین سایر عناصر غذایی از جمله، نیتروژن، افزایش معنـی‌دار صـفات مذکور مهیا خواهد شد. این امر، از طریق افزایش سنتز کلروفیل، تولید مقدار بیشتری از کربوهیدرات‌هـای فتوسـنتزی را، بـرای تولیـد تعـداد مریستم‌های آغازنده شاخه‌های فرعی فراهم می‌کند. افزون بر این، در گلرنگ به‌ازای هر شاخه فرعی معمولاً یک طبق نیز تشـکیل خواهـد شد؛ که این امر، موجب افزایش اجزای عملکرد دانه در گیاه خواهد شد (Paludo *et al*., 2017). نتایج مشابهی در ایـن بـاره گـزارش شـده اسـت (Bonfim-Silva *et al*., 2019). گـزارش شـده اسـت کـه تفاوت‌های ژنتیکی زیادی بین ارقام گلرنگ وجـود دارد. تعـداد طبـق بارور در گیاه، و به تبع آن تعداد دانـه در هـر طبـق، از جملـه‌ی ایـن متغیرها می‌باشند که نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد دانه گلرنـک بـر عهده دارد (Arsalan and Cuplan, 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) دو ساله صفات مورد بررسی در گلرنگ

Table 3- Compound analysis of variance (mean squares) of two years of studied traits in safflower

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	تعداد طبق بارور در متر مربع N. fertile head per m^{2}	تعداد دانه در طبق N. seed per head	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Seed yield	درصد روغن Oil (%)	عملکرد روغن Oil yield	جذب فسفر دانه Seed phosphorus uptake	کارایی مصرف فسفر P. use efficiency	کارایی جذب فسفر P. uptake efficiency	کارایی استفاده فسفر P. utilization efficiency
سال Year	1	13953.75**	58.02**	1234.70**	1440570.15**	29.74*	188326.23**	0.65^{ns}	.01^{ns}	0.04*	15606.26**
سال در تکرار Year × Rep	4	314^{ns}	2.13^{ns}	12.64^{ns}	25897.45	3.20^{ns}	5800.62^{ns}	5.69**	.03**	0.03*	5044.41*
مقدار فسفر Phosphorus Rate	4	11595.98**	109.46**	66.33**	1868513.06**	12.83^{ns}	193658.37**	49.50**	0.38**	0.45**	1185.80^{ns}
سال × مقدار فسفر Year ×P rate	4	3042.21**	15.73**	40.69**	86885.36*	8.26^{ns}	20490.89**	1.96^{ns}	0.004^{ns}	0.01^{ns}	349.71^{ns}
رقم Cultivar	1	4386.15*	120.42**	2854.39**	150700.82*	268.73**	178080.73**	23.84**	0.002^{ns}	0.02^{ns}	13299.01**
سال × رقم Year × Cultivar	1	5208.02**	30.82**	425.28**	370.02^{ns}	0.01^{ns}	654.88^{ns}	1.68**	0.001^{ns}	0.01^{ns}	376.39^{ns}
مقدار فسفر × رقم P rate×Cultivar	4	2536.28**	3.46^{ns}	5.26^{ns}	12843.28^{ns}	.08^{ns}	3166.86^{ns}	0.97^{ns}	0.002^{ns}	0.003^{ns}	282.88^{ns}
سال × مقدار فسفر × رقم Year ×P rate×Cultivar	4	2705.98**	22.19**	9.01^{ns}	682.98^{ns}	9.10^{ns}	3786.09^{ns}	0.45^{ns}	0.001^{ns}	0.002^{ns}	358.68^{ns}
Error خطا	36	632.111	1.393	6.475	26069.650	5.267	3785.658	1.250	0.004	0.01	1478.261
CV (٪) ضریب تغییرات	-	12.4	6.0	6.5	8.4	8.2	11.3	13.1	9.3	14.6	16.5

* معنی‌دار در سطح پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح یک درصد ns فاقد اختلاف معنی‌دار

*Significant at P≤0.05, ** Significant at P≤0.01, ns without significant difference

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارها بر تعداد طبق بارور در متر مربع و تعداد دانه در طبق گلرنگ

Table 4-Comparison of the mean effect of interaction of treatments on the number of fertile head per square meter and number of seed in head of safflower

برهمکنش تیمارها Interaction of treatments (P rate×Cultivar)	تعداد طبق بارور در متر مربع Number of fertile heads in per ^{2}			تعداد دانه در طبق Number of seed in head		
	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years
۰-گلدشت (G*-0)	232^{ab}	122^{e}	176d^{ef}	12.33^{e}	13.33^{g}	28.83^{g}
۰- صفه (S**-0)	178^{bc}	122^{e}	150^{f}	16.67^{d}	15.33^{f}	16^{f}
۵۰- گلدشت (G-50)	153^{c}	176^{d}	165^{ef}	18.33^{cd}	19.33^{e}	18.83^{e}
۵۰- صفه (S-50)	202^{bc}	174^{d}	188^{cde}	23^{a}	22^{c}	22.33^{ab}
۱۰۰- گلدشت (G-100)	207^{bc}	206^{c}	206^{bc}	18.67^{cd}	20.33^{de}	19.50^{de}
۱۰۰- صفه (S-100)	222^{b}	204^{c}	213^{bc}	21.33^{ab}	25^{b}	23.17^{a}
۱۵۰-گلدشت (G-150)	189^{bc}	215^{cb}	202^{bcd}	21.33^{ab}	19.33^{e}	20.33^{cd}
۱۵۰- صفه (S-150)	292^{a}	213^{b}	252^{a}	20^{bc}	26.33^{a}	23.17^{a}
۲۰۰-گلدشت (G-200)	216^{b}	219^{a}	218^{b}	19.67^{bc}	21^{cd}	20.70^{cde}
۲۰۰- صفه (S-200)	283^{a}	218^{a}	251^{a}	16.33^{d}	26^{ab}	21.17^{bc}

– در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

- In each column means with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at P≤0.05 probablity. * G (Goldasht cultivar), ** S (Soffeh cultivar)

وزن هزار دانه و عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال در مقادیر فسفر و سال در رقم بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه در سال اول (۴۹/۳۲ گرم) و در سال دوم (۳۵/۶۳ گرم)، در سطوح ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد، هرچند که در سال دوم تفاوت آماری بین سطوح فسفر مصرفی وجود نداشت (جدول ۵). میانگین دو ساله وزن هزار دانه حاکی از این بود که با مصرف فسفر، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری افزایش داشت. بر این اساس، بیشترین وزن هزار دانه (۴۲/۴۱ گرم)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). استفاده از کودهای فسفر به‌دلیل افرایش رشد ریشه و به تبع آن افزایش جذب مواد غذایی، سبب افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نتیجه افزایش وزن هزار دانه می‌گردد. از طرفی، برای تولید دانه در گیاهان زراعی، وزن هزار دانه، نشان‌دهنده سلامتی گیاه در طول دوره پر شدن دانه می‌باشد (Jalilian and Heydarzadeh, 2015). از سویی، در هر دو سال مورد بررسی و نیز میانگین دو ساله، وزن هزار دانه رقم گلدشت (۴۶/۲۰ گرم)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم صفه (۳۲/۴۱ گرم)، بود (جدول ۶). وزن هزار دانه بیشتر در رقم گلدشت را می‌توان به تفاوت ژنتیکی دو رقم ربط داد. به عبارت دیگر، وزن هزار دانه از ویژگی‌های متاثر از اثر رقم می‌باشد و تولید بذر سنگین‌تر چنانچه پیشتر ذکر گردید، بیشتر نتیجه انتقال مناسب فتوآسیمیلات‌ها به بذر می‌باشد (Alizadeh and Carapetian, 2006). از طرفی، تجزیه واریانس مرکب نتایج نشان داد که برهمکنش سال در کود فسفر بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). در هر دو سال آزمایش با مصرف فسفر عملکرد دانه در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر (شاهد)، به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد (جدول ۵). در سال اول بیشترین عملکرد دانه (۲۰۸۷ کیلوگرم در هکتار)، از مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به‌دست آمد. در سال دوم بیشترین عملکرد دانه (۲۴۴۸ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده گردید که البته با سطوح ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). بیشترین میانگین دو ساله عملکرد دانه (۲۱۸۴ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار مشاهده شد که نسبت به عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف فسفر، ۷۱ درصد بیشتر بود (جدول ۵). پژوهشگران پاسخ متفاوت ارقام گلرنگ به سطوح مختلف کود فسفر را گزارش نموده‌اند (da Anicesio *et al.*, 2015; Sofy *et al.*, 2020). اثر مثبت کود فسفر بر گلرنگ که بر اجزای عملکرد (تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه)، و در نتیجه بر افزایش عملکرد دانه منعکس می‌شود، به دلیل نقش مستقیم این عنصر در فرآیندهای سوخت و ساز گیاه از جمله، در تقسیم و رشد سلول، انتقال انرژی، ساخت مواد آلی، تنفس و فتوسنتز است. همچنین، هرگاه گیاه بتواند مقدار بیشتری از تابش خورشیدی را جذب نماید، می‌تواند با مقدار بیشتری از ذخایر فتوسنتزی در مرحله رشد رویشی، وارد مرحله زایشی شود. در نتیجه، علاوه بر تولید محصول بیشتر، قادر خواهد بود که مقدار بیشتری از آسیمیلات‌های

فتوسنتزی را به دانـه منتقـل نمایـد و از ایـن طریـق باعـث افـزایش عملکرد دانه شود. از طرفی، تامین بهینه فسفر در هنگام گلدهی باعث افزایش گرده‌افشانی در گیاه می‌شود، چرا که فسـفر نقـش مهمـی در گرده‌افشانی گیاهان دارد. از ایـن رو بـه نظـر مـی‌رسـد، فسـفر از راه افزایش اجزای عملکرد می‌تواند موجب بهبود عملکـرد دانـه و روغـن گـردد (J. da Silva *et al*., 2015; Heshmati *et al*., 2017; Ahmadpour Abnavi *et al*., 2019). همچنین، عملکرد دانه تحت اثر معنی‌دار رقم قرار گرفت، به‌طـوری‌کـه عملکـرد دانـه رقـم صـفه (۱۹۷۹ کیلوگرم در هکتار)، در مقایسه با عملکرد دانـه رقـم گلدشـت (۱۸۷۹کیلوگرم در هکتار)، به‌طور معنی‌داری بیشتر بـود (شـکل 1A). بنابراین، تفاوت عملکـرد دو رقـم را مـی‌تـوان بـه تفـاوت در اجـزای عملکرد (تعداد طبق بارور در متر مربع، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) و در نهایت به برآیند آن‌ها نسبت داد که منجر به تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه شده است (جـدول ۶). اخـتلاف بـین عملکـرد و سـایر ویژگی‌های ارقام گلرنگ در آزمایش‌های دیگر گزارش شده اسـت. در این باره، بررسی شاخص‌های گیـاهی در ۱۰ رقـم گلرنـگ در ترکیـه نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین صفات مورد مطالعه (ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد طبق در بوتـه، وزن هـزار دانـه، درصـد روغـن و عملکرد روغن و دانه)، بود که این تفاوت‌ها به پتانسیل ژنتیکی آن‌هـا ربط داده شد (Killi *et al*., 2016).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی سطوح فسفر بر صفات مورد بررسی در گلرنگ

Table 5- Mean comparison of the main effect of phosphorus levels on studied trait in safflower

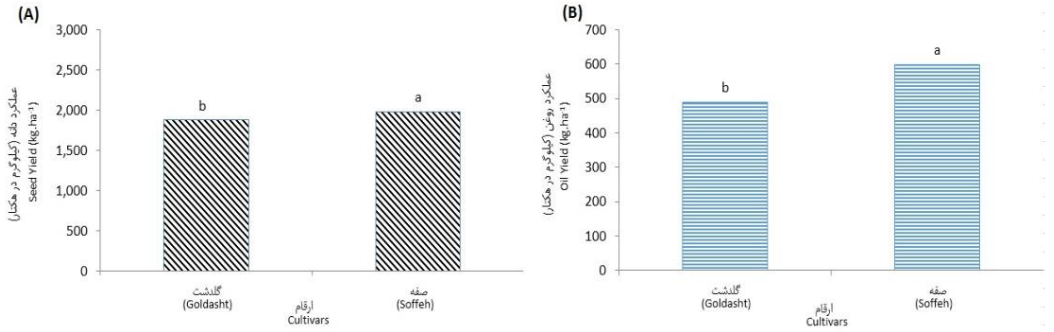
تیمارها **Treatments**	وزن هزار دانه **1000-weight seed (g)**			عملکرد دانه **Seed yield (kg.ha^{-1})**			عملکرد روغن **Oil yield (kg.ha^{-1})**			جذب فسفر دانه **Seed phosphorus uptake (kg.ha^{-1})**
سطوح کود فسفر Phosphorus levels (kg.ha^{-1})	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	میانگین دو سال Mean of 2 years
0	41.43^{bc}	31.75^{b}	36.59^{c}	1205.00^{c}	1350.17^{d}	1277.58^{c}	306.94^{c}	366.73^{d}	336.84^{c}	5.33^{c}
50	44.48^{b}	35.30^{a}	39.89^{b}	1715.00^{b}	1944.83^{c}	1829.92^{b}	473.85^{b}	540.31^{c}	507.10^{b}	7.78^{b}
100	49.32^{a}	35.51^{a}	42.41^{a}	2087.00^{a}	2281.50^{b}	2184.25^{a}	594.75^{a}	641.23^{b}	617.99^{a}	9.46^{a}
150	39.10^{c}	35.63^{a}	37.36^{c}	1952.00^{a}	2396.67^{ab}	2174.33^{a}	540.63^{ab}	707.10^{a}	623.85^{a}	9.86^{a}
200	44.88^{b}	35.65^{a}	40.27^{b}	1913.00^{ab}	2448.33^{a}	2180.67^{a}	517.91^{ab}	753.64^{a}	635.78^{a}	10.27^{a}

- در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

- In each column means with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at P≤.01probablity.

درصد روغن و عملکرد روغن

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که فقط اثر رقم بر درصد روغن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج دلالت بر این داشت که درصد روغن در رقم صفه به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم گلدشت بود، به‌طوری‌که درصد روغن در رقم صفه در مقایسه با درصد روغن رقم گلدشت، بیش از ۱۵ درصد بود (جدول ۶). همچنین، برهمکنش سال در مقادیر کود فسفر بر عملکرد روغن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که در سال اول بیشترین عملکرد روغن (۵۹۵ کیلوگرم در هکتار)، در سطح مصرف ۱۰۰ کیلوگرم فسفر در هکتار و در سال دوم (۷۵۳ کیلوگرم در هکتار)، از سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. به عبارت دیگر، با مصرف فسفر در هر دو سال آزمایش عملکرد روغن افزایش معنی‌داری در مقایسه با تیمار بدون مصرف فسفر داشت (جدول ۵). از طرفی، میانگین دو ساله عملکرد روغن نیز از سطح صفر تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سیر صعودی داشت، به‌طوری‌که بیشترین عملکرد روغن (۶۳۶ کیلوگرم در هکتار)، از مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید که البته با سایر سطوح فسفر مصرفی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). لذا، به دلیل این که عملکرد روغن بیشتر تابع عملکرد دانه است تا درصد روغن دانه، بنابراین روند افزایش عملکرد روغن مشابه افزایش عملکرد دانه در دو رقم و همچنین در سطوح کود مصرفی مزبور بود (شکل 1B). نتایج مشابهی در این باره توسط برخی پژوهشگران گزارش شده است (Jalilian and Heydarzadeh, 2015). جـدا از عامل ژنتیک، این ویژگی تا حدود زیادی بـه‌وسـیله مصرف کود از جمله، تامین مقدار بهینه فسفر تعیین می‌شود. مصرف بهینه فسفر به‌دلیل افزایش بیوسنتز اسیدهای چرب موجب افزایش عملکرد روغن در گلرنگ را فراهم می‌کند (Ebrahimian and Soleymani, 2013).



شکل ۱- اثر رقم بر عملکردهای دانه و روغن گلرنگ

Figure1- The effect of cultivar on seed yield (A), and oil yield (B) of safflower

Column with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر اصلی رقم بر صفات مورد بررسی در گلرنگ

Table 6- Comparison mean of the main effect of cultivar on studied indices in safflower

تیمارها Treatments	وزن هزار دانه 1000- weight seed (g)			درصد روغن Oil percent			جذب فسفر دانه Phosphorus uptake seed ($kg.ha^{-1}$)		
رقم Cultivar	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years	۱۳۹۱ 2012	۱۳۹۳ 2014	میانگین دو سال Mean of 2 years
گلدشت (Goldasht)	48.08[a]	44.33[a]	46.20[a]	25.10[b]	26.49[ab]	26[b]	7.52[b]	8.10[b]	7.79[b]
صفه (Soffeh)	39.61[b]	25.21[b]	32.41[b]	29.31[a]	30.74[a]	30[a]	9.35[a]	9.23[a]	9.29[a]

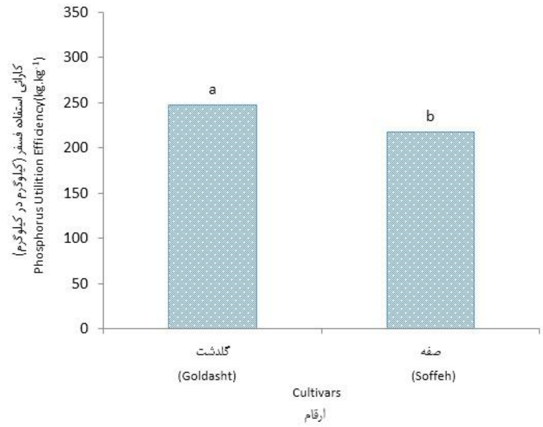
– در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

- In each column means with same letter(s) are not significantly difference by using Duncan multiple rang test at P≤.01probablity.

جذب فسفر توسط دانه و کارایی استفاده، مصـرف و جـذب فسفر

تجزیه واریانس دو ساله آزمایش بیانگر این بود که جذب فسفر در سطح احتمال یک درصد تحت اثر سطوح فسفر و رقم قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج نشان داد که با افزایش فسفر، میزان جذب فسفر در مقایسه با تیمار شاهد افزایش معنی‌داری داشت. ازطرفی، بیشترین مقدار جذب فسفر بین سطوح ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد، هرچند که اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها وجود نداشت. افزایش جذب فسفر را می‌توان به توسعه ریشه، ترشح اسیدهای آلی و یا ترشح یون پروتون داخل ریزوسفر، مرتبط دانست؛ علاوه بر این، با توجه به پایین بودن فسفر قابل جذب (پایین‌تر از حد بحرانی؛ ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم)، پاسخ به کود فسفر محتمل بود (Devi *et al*., 2012; Hunter *et al*., 2014). افزون بر این، میزان جذب در سه سطح مذکور از نظر آماری با سطح مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار تفاوت معنی‌دار داشتند (جدول ۵). جذب فسفر در واقع حاصل‌ضرب درصد فسفر در عملکرد دانه می‌باشد، لذا بر این اساس، نتایج به‌دست آمده دور از انتظار نبود. افزایش جذب فسفر درنتیجه‌ی مصرف کود فسفر در سایر مطالعات نیز گزارش شده است (Abbadi, 2017). همچنین، میزان جذب فسفر در رقم صفه به‌طور معنی‌داری بیشتر از رقم گلدشت بود (جدول ۶). این موضوع را می‌توان به متفاوت بودن عملکرد و نیز غلظت فسفر دانه بین دو رقم مرتبط دانست. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی فسفر بر کارایی مصرف فسفر و کارایی جذب فسفر در سطح احتمال پنج درصد و اثر اصلی رقم بر کارایی استفاده فسفر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). همچنین، نتایج نشان داد که رقم گلدشت کارایی استفاده‌ی بیشتری (۲۴۸ کیلوگرم در کیلوگرم)، در مقایسه با رقم صفه (کارایی استفاده ۲۱۸ کیلوگرم در کیلوگرم)، داشت (شکل ۲). تفاوت گیاهان و یا ارقام درون هر گیاه از منظر تفاوت در کارایی مصرف عناصر غذایی می‌تواند تحت اثر هر دو عامل و یا یکی از این دو عامل؛ یعنی کارایی جذب و استفاده قرار گیرد. از این رو، کارایی مصرف عناصر غذایی از جمله فسفر در واقع تحت اثر هر دو عامل کارایی؛ یعنی کارایی جذب و استفاده است که به‌ترتیب، نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه در جذب فسفر و تولید ماده خشک گیاهی به‌ازای هر واحد فسفر جذب شده می‌باشد (Akhtar*et al*., 2008; Duan *et al*., 2009; Rose and Wissuwa, 2012). بر این اساس، رقم گلدشت از نظر صفت کارایی استفاده که در واقع همان شاخص کارایی فیزیولوژیک یا داخلی است، نسبت به رقم صفه

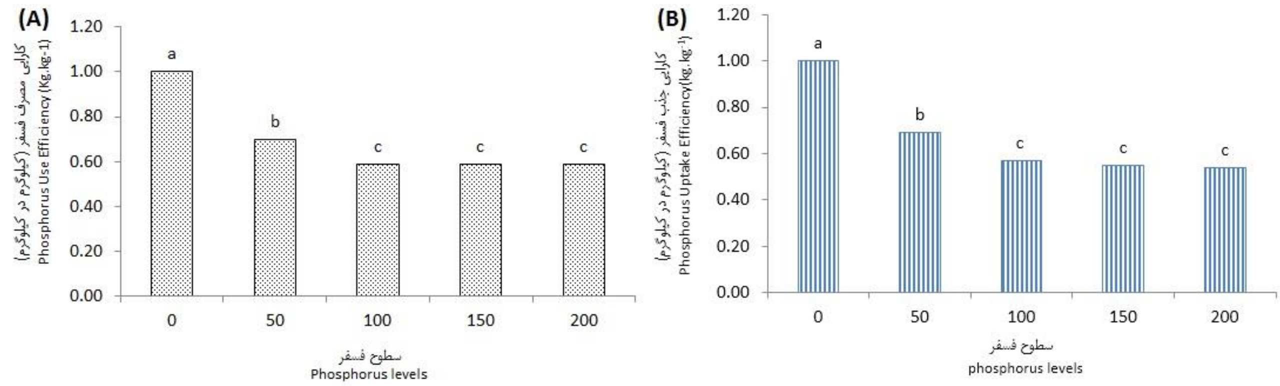
برتری داشت. به بیان دیگر، رقم گلدشت سازوکار درونی خود را به‌گونه‌ای تنظیم می‌کند که به‌ازای هر واحد فسفر جذب شده، عملکرد بالایی داشته باشد. همچنین، مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از این بود که با مصرف فسفر در مقایسه با تیمار شاهد، شاخص‌های کارایی مصرف و جذب فسفر به‌طور معنی‌داری کاهش داشتند (به‌ترتیب ۶۹ و ۸۵ درصد)، به‌طوری‌که تیمار بدون مصرف کود فسفر بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب (۱ کیلوگرم در کیلوگرم)، را داشت. از طرفی، در بین سطوح فسفر مصرفی، بیشترین کارایی مصرف (۰/۷ کیلوگرم در کیلوگرم) و کارایی جذب (۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم)، به کمترین مقدار کود مصرفی، یعنی ۵۰ کیلوگرم در هکتار اختصاص پیدا کرد که با سایر سطوح فسفر اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تفاوت بین کارایی مصرف و کارایی جذب در سطح ۵۰ کیلوگرم فسفر در هکتار با سایر سطوح مصرفی به‌ترتیب حدود ۱۹ درصد و ۲۵ درصد بود (شکل ۳). بررسی‌هایی در ارتباط با کاهش شاخص‌های کارایی فسفر در اثر کاربرد فسفر در گیاه گلرنگ در شرایط گلدانی گزارش شده است (Abbadi *et al*., 2017). کاهش شاخص‌های کارایی را می‌توان به قانون عوامل محدودکننده ربط داد؛ بدین صورت که وقتی تامین یک عنصر غذایی زیاد می‌شود، دیگر عناصر غذایی عوامل محدودکننده می‌شوند (Balcha, 2014). ارقام گلرنگ از نظر کارایی مصرف و جذب فسفر اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۳). شاخص کارایی جذب در واقع برآیند برهمکنش مولفه‌های مربوط به ریشه (طول ریشه، قطر ریشه، تراکم سطح ویژه ریشه، نسبت ریشه به اندام هوایی و میزان نیاز اندام هوایی به فسفر ریشه) و خاک (از جمله اسیدیته، فسفر محلول و فسفر قابل استخراج)، می‌باشد (Abbadi *et al*., 2017). لذا، دو رقم مورد بررسی که شرایط شیمیایی و فیزیکی خاک برای آن‌ها یکسان بوده، احتمالاً از حیث ویژگی‌های منتسب به ریشه مشابه بوده‌اند. از طرفی، در ارتباط با اهمیت شاخص کارایی جذب نسبت به شاخص کارایی استفاده، اختلاف نظر وجود دارد. به‌طوری‌که، عده‌ای از پژوهشگران کارایی جذب را مهم‌تر از کارایی استفاده و بالعکس، عده‌ای دیگر کارایی استفاده را مورد توجه قرار می‌دهند. از سویی، اهمیت هر دو نوع شاخص از منظر پژوهشگران دیگر یکسان تلقی شده است (Ozturk *et al*., 2005; Yang *et al*., 2010).



شکل ۲- اثر رقم بر کارایی استفاده فسفر در دو رقم گلرنگ

Figures 2- The effect of safflower cultivars on phosphorus utilization efficiency

Column with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.



شکل ۳- اثر سطوح فسفر بر کارایی مصرف و جذب فسفر در گلرنگ

Figure3- The effect of phosphorus levels on use efficiency (A) and uptake efficiency (B) indices in safflower

Colum with same letter (s) are not significantly difference by using Duncan multiple test rate at P≤0.05 probability.

بررسی اقتصادی نتایج (نسبت فایده به هزینه)

مدیریت بهینه عناصر غذایی یکی از ارکان مهم سامانه کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. در این سامانه، چون تولید اقتصادی محصول همراه با حفظ و پایداری بلند مدت حاصلخیزی خاک مد نظر می‌باشد، ضروری است که با توجه به عملکرد اقتصادی، میزان بهینه کودهای شیمیایی تعیین گردد (Kassray,1993). از این رو، برای تحلیل اقتصادی نتایج از نسبت فایده به هزینه (درآمد افزایش عملکرد محصول نسبت به تیمار شاهد به هزینه کود مصرفی)، استفاده گردید (PRII, 1996). بر این اساس، نتایج حاکی از این است که بیشترین نسبت فایده به هزینه به میزان ۳۵/۵۱ از مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار و با به‌کارگیری رقم صفه به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ۷- نسبت فایده به هزینه در گلرنگ
Figure 7- Benefit to cost ratio in safflower

تیمارها Treatments	میانگین دو ساله عملکرد دانه Mean of 2 years seed yield ($kg.ha^{-1}$)	افزایش عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد (۱) Increased seed yield compared to control treatment	درآمد (۲) Income (Extra product price per kg of product)	هزینه استفاده از کود فسفر مصرفی بر حسب تومان (۳) Cost of applied phosphorus fertilizer	نسبت فایده به هزینه* (ستون ۲ تقسیم بر ستون ۳) Benefit to cost ratio
۰-گلدشت (G*-0)	1255	–	–	–	–
۰- صفه (S**-0)	1301	–	–	–	–
۵۰- گلدشت (G-50)	1727	472	1458480	55000	26.52
۵۰- صفه (S-50)	1933	632	1952880	55000	35.51
۱۰۰- گلدشت (G-100)	2162	907	2802630	110000	25.48
۱۰۰- صفه (S-100)	2207	906	2799540	110000	25.45
۱۵۰-گلدشت (G-150)	2122	867	2679030	165000	16.24
۱۵۰- صفه (S-150)	2226	925	2858250	165000	17.32
۲۰۰-گلدشت (G-200)	2130	875	2703750	220000	12.29
۲۰۰- صفه (S-200)	2231	930	2873700	220000	13.10

* برای محاسبات، هزینه هر کیسه کود سوپر فسفات تریپل۵۵۰۰۰ هزار تومان و هر کیلو دانه گلرنگ در سال ۹۸-۱۳۹۷ براساس قیمت تعیین شده توسط وزارت جهاد کشاورزی ۳۰۹۰ تومان در نظر گرفته شد.

For calculations, the cost of each bag of triple superphosphate fertilizer was 55,000 Tomans and each kg of safflower seeds in 2018-19 was considered 3090 Tomans based on the price set by the Ministry of Jihad Agriculture. G*(Goldasht) and S**(Soffeh).

نتیجه‌گیری

با توجه به نقش موثر فسفر بر عملکرد دانه و روغن و ضرورت استفاده مناسب از این ماده غذایی با لحاظ نمودن جنبه اقتصادی و زیست‌محیطی، مصرف ۵۰ کیلوگرم کود فسفر در هکتار با بیشترین شاخص کارایی مصرف و جذب فسفر (به‌ترتیب ۰/۷و ۰/۶۹ کیلوگرم در کیلوگرم) و نیز انتخاب رقم صفه برای دستیابی به بیشترین نسبت فایده به هزینه (۳۵/۵۱)، در شرایط اجرای این آزمایش قابل توصیه می‌باشد. همچنین، پیشنهاد می‌گردد تاثیر منابع مختلف ماده آلی و کودهای زیستی بر عملکرد و نیز بررسی امکان تامین بخشی از فسفر مورد نیاز گیاه گلرنگ در دستور کار قرار گیرد. از طرفی، مطالعاتی روی آزادسازی فسفاتازهای ریزوسفری، پروتون‌ها و اسیدهای آلی در شرایط کمبود فسفر صورت گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از کلیه همکاران محترم در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول به‌ویژه همکاران شاغل در بخش تحقیقات خاک و آب که در اجرای این پروژه مساعدت نمودند، قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Abbadi, J., and Gerendas, J. 2011. Effects of phosphorus supply on growth, yield, and yield components safflower and sunflower. Journal of Plant Nutrition 34: 1769-1787.
2. Abbadi, J. 2017. Phosphorous use efficiency of safflower and sunflower grown in different soils. World Journal of Agricultural Research 5 (4): 212-220.
3. Abbadi, J., Dittert, K., Steingrobe, B.,and Claassen, N. 2017. Mechanisms of phosphorous uptake efficiency of safflower and sunflower grown in different soils. Research in Plant Sciences 5 (1): 26-42.

4. Afzal, O., Asif, M., Ahmed, M., Awan, F. K., Aslam, M. A., Zahoor, A., Bilal, M., Shaheen, F. A., Zulfiqar, M. A., and Ahmed, N. 2017. Integrated nutrient management of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under rainfed conditions. American Journal of Plant Science 8: 2208-2218.
5. Ahmadpour Abnavi, S., Ramroudi, M., and Galavi, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under low irrigation condition. Agricultural Science and Sustainable Production 29 (1): 269-284. (in Persian).
6. Akhtar, M. Sh., Oki, Y., and Adachi, T. 2008. Phosphorus and biomass distribution and Pefficiency by Diversa Brassica cultivars exposed to adequate and p- stress environment. Journal of Environmental Science and Technology 1: 111-119.
7. Ali Ahyaei, M., and Bebahani Zadeh, A. A. 1993. Description of Soil Chemical Analysis Methods. Technical Journal 893. Soil and Water Research Institute. (in Persian).
8. Alizadeh, K., and Carapetian, J. 2006.Genetic variation in a safflower germplasm grown in rainfall cold drylands. Agronomy Journal 5: 50-52.
9. Arsalan, B., and Cuplan, E. 2018. Identification of suitable safflower genotypes for the development of new cultivars with high seed yield, oil content and oil quality. Azarian Journal of Agricultural 5 (5): 133-141.
10. Blackwell, M., Darch, T., and Haslam, R. 2019. Phosphorus use efficiency and fertilizers: future opportunities for improvements. Frontiers of Agricultural Science and Engineering 6 (4): 332-340.
11. Balcha, A. 2014. Effect of phosphorus rates and varieties on grain yield, nutrient uptake and phosphorus efficiency of Tef [(*Eragrostis tef* (Zucc)] Trotter. American Journal of Plant Science 5: 262-267.
12. Bonfim -Silva, E. M., Dourado, L. G. A., Soares, D. S., Santos, T. M., da Silva, T. J. A., and Fenner, W. 2019. Reactive natural phosphate in safflower fertilization in Cerrado Oxisol. Journal of Agricultural Science 11 (15). 142-135.
13. Bonfim-Silva, E. M., Miranda, L. F. S., Das Neves, L. C. R., FreitasSousa, H. H., and Jose, J. V. 2017. Phytometric and productive characteristics of safflower submitted to phosphate fertilization in the Oxisol of the Brazilian Cerrado. American Journal of Plant Science 8 (1): 2966-2976.
14. da Anicesio, E. C. A., Bonfim- Silva, E. M., da Silva, T. J. A., and Koetz, M. 2015.Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. Australian Journal of Crop Science 9 (6): 552-560.
15. J. da Silva, C., da Silva, A. C., Zoz, T., Victor, B., Toppa, E., Silva, P. B., and Zanotto, M. D. 2015. Genetic divergence among accessions of *Carthamus tinctorius* L. by morphoagronomic traits. African Journal of AgriculturalResearch10 (25): 4825-4830.
16. Devi, K. N., Singh, L. N. K., Devi, T. S., Devi, H. N., Singh, T. B., Singh, K. K., and Singh, W. M. 2012. Response of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) to sources and levels of phosphorus. Journal of Agricultural Science 4 (6): 44-53.
17. Duan, H. Y., Shi, L., Ye, X. S., Wang, Y. H., and Xu, F. S. 2009. Identification of phosphorus efficient germplasm in oilseed rape. Journal of Plant Nutrition 32: 1148-1163**.**
18. Ebrahimian, A., and Soleymani, A. 2013.Growth length and dry matter yield in different stages of safflower as affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers. International Journal of Agronomy and Plant Production 4 (5): 963-969.
19. Emami, A. 1996. Plant Analysis Methods. Volume I, Technical Journal No. 982, Soil and Water Research Institute. (in Persian).
20. Ghaderi, J., and Nourgholipour, F. 2020. Effects of Phosphorus on grain yield and phosphorus efficiency indices in canola cultivars in Kermanshah region. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology) 34 (2): 439-453. (in Persian with English abstract).
21. Golzarfar, M., Shiranirad, A. H., Delkhosh, B., and Bitarafan, Z. 2012. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) response to different nitrogen and phosphorus fertilizer rates in two planting seasons. Zemdirbyste-Agriculture 99 (2): 159-166.
22. HaghighatiMalek, A., and Ferri, F.2014. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers on safflower yield in dry lands condition. International Journal of Research in Agricultural Sciences 1 (1): 2348-23.
23. Hashemi dezfuli, A. H., Koocheki, A., and Banayan, M (Translation). 1995. Maximizing Crop Yields. Mashhad University, Iran. (in Persian).
24. Heidari, M., Sobhkizi, A. R., Mahmoody, M., and Noori, M. 2014. Evaluation of phosphorus fertilizer and azospirllum on number of head, number of branch and plant height on safflower. International Journal of Biosciences 5 (1): 455-460.
25. Heshmati, S., Amini Dehghi, M., and Fathi Amirkhiz. 2017. Effects of biological and chemical phosphorus fertilizer on grain yield, oil seed and fatty acids spring safflower in water deficit conditions. Iranian Journal of Field Crop Science 48 (1): 159-169. (in Persian with English abstract).
26. Hosseini, Z. 2007. Description of Common Methods in Food Analysis. Shiraz University, Iran. (in Persian).

27. Hunter, P. J., Teakle, G. R., and Bending, G. D. 2014. Root traits and microbial community interaction on relation availability and acquisition, with particular reference to Brassica. Frontiers in Plant Science 5: 1-18.
28. Jalilian, J., and Heydarzadeh, S. 2015. The effect of cover plants, organic and chemical fertilizers on the qualitative and qualitative characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*) . Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 25 (4): 71-85. (in Persian with English abstract).
29. Kassray, R. 1993. An Overview of The Science of plant Nutrition (Translation). Tabriz University, Iran. (in Persian).
30. Killi, F., Kanar, Y., and Tekeli, F. 2016. Evaluation of seed and oil yield with some yield components of safflower varieties in Kahramanmaras (Turkey) conditions. International Journal of Environmental and Agricultural Research 2 (7): 136-140.
31. Mirzashahi, K., Salimpour, S., and Paknejad, A. R. 2015. Fertilizer recommendations for crops and gardens in northern Khuzestan. Technical Journal, No. 536. Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (in Persian).
32. Noushahi, H. A., Hussain, M., Bilal, M., Salim, M. A., Idress, F., Jawad, M., Rizwan, M., Atta, B., and Tanveer, K. 2019. Improving phosphorus use efficiency by agronomical and genetic means. World Journal of Agricultural Science 15 (2): 47-53.
33. Ozturk, L., Eker, S., Torun, B., and Cakmak, I. 2005.Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in phosphorus- deficient calcareous soil. Plant and Soil 269: 69-80.
34. Paludo, J. S., Bonfim-Silva, E. M., Silva, T. J. A., Zanatto, M. D., Fenner, W., and Koetz, M. 2017. Reproductive components of safflower genotype submitted of bulk density levels in the Brazilian Cerrado. American Journal of Plant Science 8 (1): 2069-2082.
35. Park, J. H., Bolan, N., Megharaj, M., and Naidu, R. 2011. Isolation of phosphate solubilizing bacteria, and their potential for lead immobilization in soil. Journal of Hazardous Materials 185: 829-36.
36. PRII. 1996. Internal Report. Potash Research Institute of India. Gurgaon, Haryana, India.
37. Rose, T. J. M., and Wissuwa, M. 2012. Rethinking internal phosphorus utilization efficiency: a new approach is needed to improve PUE in grain crops. Advances in Agronomy116: 185-217.
38. Sepehr, E. 2008. Investigation of mechanisms of response of cereals to phosphorus deficiency. PhD Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
39. Sofy, S. O., Hama, S. J., and Hamma-Umin, B. O. 2020. Influence of phosphorus fertilizer on yield and oil of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties under rainfed condition. Applied of Ecology and Environmental Research 18 (2): 3409-3418.
40. Tehrani, M. M., Balali, M. R., Moshiri, F., and Daryashenas, A. 2012. Recommendation and the estimation of mineral fertilizers in Iran: Challenges and Solutions. Research of Soil 26 (2): 123-144.
41. Vafaie, A., Ebadi, A., Rastgou, B., and Moghadam, S. H. 2013.The effects of potassium and magnesium on yield and some physiological traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). International Journal of Agricultural and Crop Sciences 5 (17): 1895-1900.
42. Wang, X., Shen, J., and Liao, H. 2010. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? Plant Science 179 (4): 302-306.
43. Wei, Y., Zhao, Y., Fan, Y., Lu, Q., Li, M., and Wei, Q. 2017. Impact of phosphate solubilizing bacteria inoculation methods on phosphorus transformation and long-term utilization in composting. Bioresource Technology 241: 134-41.
44. Yang, G., Zuo, Q., Tang, Y., Shi, J. F., Hui, F. H., and Leng, D. H. 2010. Phosphorus absorbtion and utilization of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 4, Winter. 2021, p. 477-488

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص. ۴۸۸-۴۷۷

Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars in Response to Phosphorus Application and Its Efficiency Indices

K. Mirzashahi[1*], M. Moayeri[2], F. Nourgholipour[3]

Received: 26-10-2020
Accepted: 03-01-2021

Introduction: Phosphorus is the third most important nutrient in crop production after nitrogen and potassium. It is involved in all biochemical processes, energetic compounds, and energy transfer mechanisms. Phosphorus participates in the cellular proteins and cell membrane and nucleic acids. In addition, this element is essential for seed formation and root development. Also, this element recovery in the first year of application estimates to be 8 to 30%, and after 30 years rarely reaches to 50% and its rest is stabilized in the soil and accumulates inaccessibly for most plants. Therefore, in the last two decades, scientists have used various methods to improve the efficiency of phosphorus, including the selection and genetic modification of plants and the adopting agricultural practices such as determining the optimal amount of phosphorus, the right time and method of application and the right fertilizer source. In addition, due to the growing trend of vegetable oil consumption and the high cost of supplying the required oil through imports, the purpose of this study was to determine the optimal rate of phosphorus and selecting the appropriate efficient cultivar in order to extend oilseed crops cultivation.

Materials and Methods: In order to study the response of safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.), to phosphorus rates and their efficiency indices, a factorial experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications during 2012-13 and 2014-15 at Safiabad Agricultural Research Center of Dezful, Khuzestan, Iran. The first factor included five phosphorus levels (0, 50,100, 150 and 200 kg ha^{-1} as Triple Super Phosphate "TSP"), and the second factor included two cultivars (Goldasht and Soffeh). Safflower seeds were planted by setting up a sugar beet planter, in a row with a distance of 50 cm between rows and a distance of 5 cm between plants. Urea and potassium sulfate were uses at 300 and 100 kg ha^{-1}, respectively. One-third of nitrogen and all phosphorus and potassium were used pre planting. The rest of urea fertilizer was applied as top dressing in two equal splitting rates (beginning of stem and early flowering stages). Before harvesting in each replication, the number of fertile heads per square meter (in three boxes of one square meter per plot), and the number of full grains (counting full grains in 20 heads), and after harvesting the weight of 1000 seeds (with three times counts were calculated in three random groups of 1000 seeds per plot). Finally, number of fertile heads per square meter, number of seeds per heads, 1000-seed weight, seed and oil yields, seed phosphorus uptake, and phosphorus efficiency indices were measured.

Results and Discussion: The results showed that the interaction of treatments was significant on the number of fertile heads per square meter and number of seeds per head. In both cultivars, with increasing phosphorus application, the mentioned traits increased significantly. The highest number of fertile heads (252 pieces), and the number of seeds per head (23.17 pieces), were obtained at the level of 150 kg phosphorus ha^{-1}. The interaction between year and phosphorus on 1000-seed weight and seed yield and the interaction between year and cultivar on 1000-seed weight were significant. The highest 1000-seed weight (42.41 g), and seed yield (2184 kg ha^{-1}), were obtained by application of 100 kg phosphorus ha^{-1}. Seed and oil yields of Soffeh cultivar (1979 and 599 kg ha^{-1}, respectively), was superior to Goldasht cultivar. Also, the results showed that Goldasht cultivar had higher utilization efficiency (248 kg kg^{-1}), compared to Soffeh cultivar (218 kg kg^{-1}). Phosphorus application significantly reduced use and uptake efficiency indices (69% and 85%, respectively). So that the treatment without phosphorus application had the highest use and uptake efficiency (1 kg kg^{-1}). The difference between use and uptake efficiency at the level of 50 kg phosphorus ha^{-1} with other phosphorus levels was about 19% and 25%, respectively.

Conclusions: In general, due to the highest benefit-to-cost ratio (35.51) and use and uptake efficiency indices (0.69 and 0.7 kg .kg^{-1}, respectively), application of 50 kg ha^{-1} of phosphorus fertilizer and Soffeh cultivar is recommended.

Keywords: Benefit to cost ratio, Phosphorus use efficiency, Safflower, Yield components

1- Assistant Professor of Soil and Water Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Dezful, Iran
2- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Safiabad Agricultural Research and Education and Natural Resources Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Dezful, Iran
3- Assistant Professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, AERRO, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: kamranmirzashahi@yahoo.com)